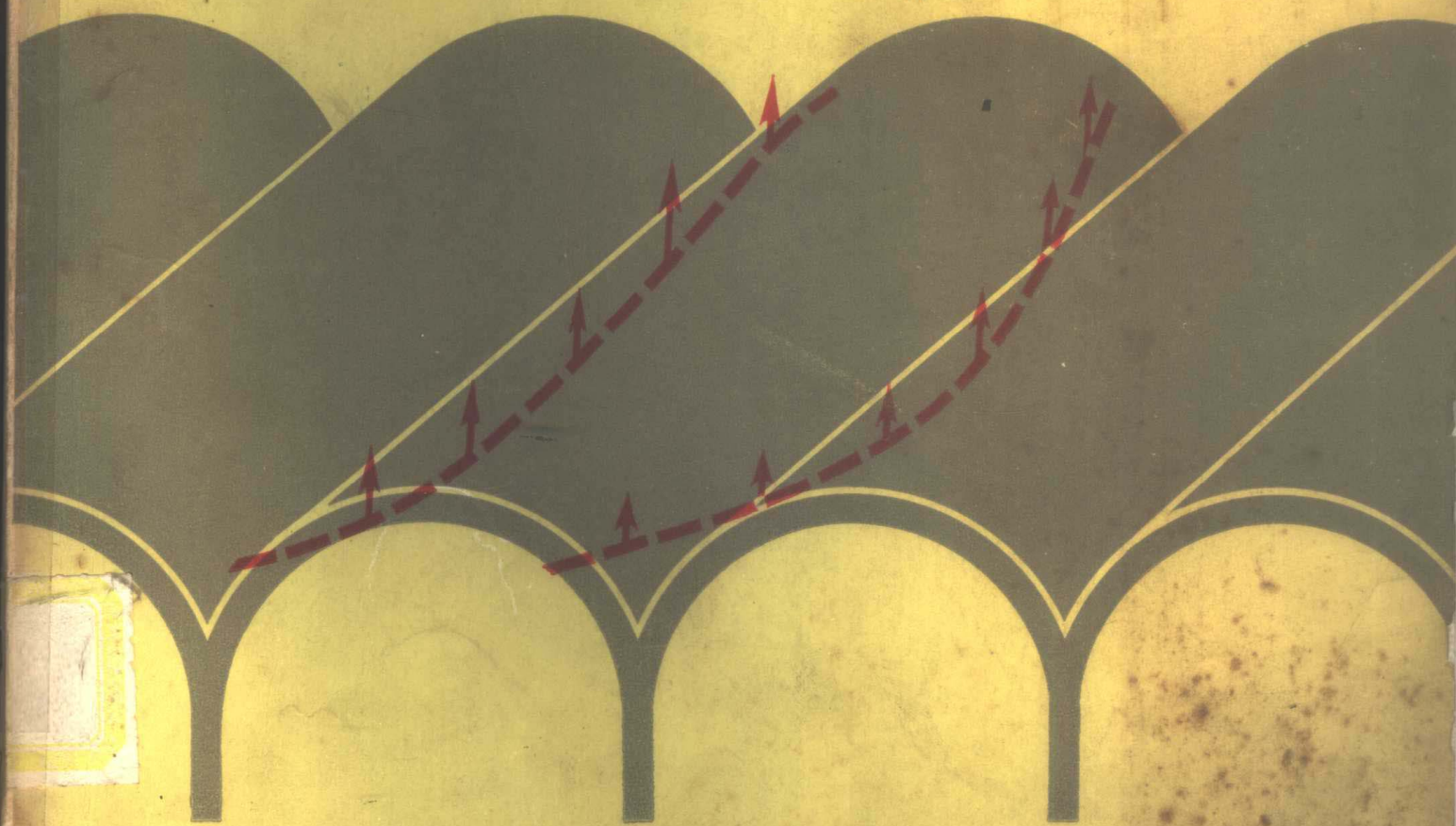


预应力 混凝土 结构设计

(第三版)

林同炎 NED H. BURNS 著 路湛沁 黄棠 马誉美 译



中国铁道出版社

内 容 简 介

本书着重对预应力混凝土基本原理的阐述。共分16章，附有习题。其特点是不拘泥于某些规范，而善于启发读者利用自然规律来处理问题。

本书可供广大土建工程技术人员及大专院校土建专业师生参考。

T. Y. LIN NED H. BURNS JOHN WILEY & SONS
Design of Prestressed Concrete Structures
3rd edition
1981

预应力混凝土结构设计 (第三版)

林 同 炎 著
NED H. BURNS

路湛沁 黄 棠 马誉美 译

中国铁道出版社出版

责任编辑 王能远 封面设计 赵敬宇

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：26.75 字数：648千

1983年9月第1版 1983年9月第1次印刷

印数：0001—15,000册 定价：2.75元

献给不盲从规范

而寻求利用自然规律

的工程师

6/11/07

译 者 前 言

本书作者林同炎 (T. Y. Lin) 系我国交通大学唐山工程学院土木系 1931 年毕业生, 1933 年获美国加州大学土木工程硕士学位, 曾在我国铁路工程部门工作。1946~1974 年任教于美国加州大学伯克利分校。

林同炎于 1967 年被选为美国工程科学院院士, 1974 年获得国际预应力联合会 (FIP) 的最高技术奖——弗列新涅奖章, 是美国及国际上知名的预应力混凝土专家及学者。

林同炎自 1953 年起还创建了林同炎咨询公司, 对美国预应力混凝土工业的发展和成长起了很重要的作用。该公司于 1964 年发展成为林同炎国际咨询公司, 为世界上许多城市建造了很多出色的结构物。

林同炎在教学、科研及工程实践方面都具有丰富的经验。他首创的“荷载平衡法”设计理论, 使预应力混凝土结构设计大为简化。他所著的本书第一版曾被美国土木工程师学会 (ASCE) 评选为大学最好教科书之一。

本译本系根据林同炎教授与 NED H. BURNS 教授合著的《Design of Prestressed Concrete Structures》最新版——1981 年第三版译出。本书翻译过程中得到林同炎教授大力支持, 在此表示感谢。

参加本书翻译的有: 路湛沁 (第 1、2、3、4、5、6、7、9、10、12、16 各章), 黄棠 (第 11、13、14、15 各章), 马誉美 (第 8 章)。

陈家夔及金国生二同志协助整理译稿, 特此表示感谢。

译者 1982 年于西南交通大学

序

预应力混凝土的发展经过，可能以用下面这首谐模诗*来描述为最妙，它是1957年林同炎在旧金山的世界预应力混凝土会议上的献词。

全世界是一个舞台，
而所有的工程技术不过是一些演员：
他们都有下场的时候，也都有上场的时候。
预应力混凝土如象其他工程技术一样，扮演着一个角色，
他的表演分为七个时期。最初是婴孩，
在发明人的怀抱里受张拉又被压缩。
然后是好奇的学童，由富有想象力的工程师情深地创作出来交给富裕的顾客，
造得很成功，只是费去许多材料。然后是情人，
他经过的道路总不平坦，某些人欢迎他，
而另一些人，特别是营造界的官吏则回避他。现在成了军人，
在全世界各处都大量生产出来，
很快就和任何材料争胜，不但强度高，而且也很经济。
很快就成法官，编订出法规来要你遵循，
又编制出公式和图表来使你容易决定。现在已不再是先驱者的游戏，
而是预应力混凝土在这样扮演它这个角色。第六个时期
转变到精益求精的研究和更加大胆的设计，
那是前辈们和象牙之塔里的人们所梦想不到的。
最后一场是普遍应用并因而平淡无奇、湮没无闻，
它终结着预应力混凝土作为一种施工方法，
作为一种工程材料的多事的历史，
如象木材一样，如象钢铁一样，如象钢筋混凝土一样，
如象任何别的东西一样。

在林同炎写出本书第一版的时候，预应力混凝土在美国刚刚进入它的第四个时期，即开始大量生产。目前则它已走出第六个时期而进入最后一个时期。这一迅速的进程使得对前两版作出相当彻底的订正这件事有了可能。

新版中对预应力混凝土基本理论的表述和第二版中类似。荷载平衡法是同工作荷载法和极限荷载法并列而讨论的，它们有如三足鼎立，形成预应力混凝土设计的基础。

讲材料、预加应力体系及锚具和预应力损失的那几章已经补充了新近的内容。抗弯构件

*谐模诗：指模仿他人诗文而改作的有诙谐意味的诗。此处是模仿莎士比亚‘皆大欢喜’剧第二幕第七场中一段有名的台词而写成的。

分析中增加了重要的一节，讲弯矩曲率间的关系。关于抗剪和粘结的问题在第二版写成之后已经收入规范，现在它们不但有理论性的阐述作为根据，而且还有可靠的实验成果作为根据。梁的反挠度和变形问题在随时间变化的混凝土性能方面，新版中讨论得较前详尽。在配有曲形后张力筋的连续梁之分析和设计方面，新版涉及的范围较前完整。在数字例子中既有按理想化力筋布置进行的荷载平衡法的计算，又有按实际力筋布置情况进行的分析。

目前建筑法规和桥梁规范在预应力混凝土方面标准化的情况已经相当好了，所以在设计例子中采用美国的ACI法规，包括其最近刚订正的内容。桥梁设计师则应参考美国的AAS-HTO桥规，而在允许应力和荷载系数方面作不大的调整。

附录E中列出一些经过选择的习题，本书作者曾让其大学本科生和研究生作过这些题。有关这些习题的解答，可以供给他校教师，函索即寄。

我们相信，这一新版的内容既然已经跟上了时代，那么它必将继续被那些对预应力混凝土有兴趣的工程师们用作教材和参考书。

作者衷心感谢 Martha Burns 和 Stephanie Burns 二君将手稿打字，并感谢 Sow-Wen Chang 和 Sung L. Lam 二君在引入SI单位方面给予的协助。

林同炎

Ned H. Burns

1981年于加利福尼亚州的Berkeley和得克萨斯州的Austin

目 录

1 绪 论	1
2 材 料	25
3 预加应力体系; 端锚具	42
4 预应力损失; 摩擦	54
5 受弯截面分析	78
6 受弯截面设计	118
7 剪切; 粘结; 承压	152
8 反挠度, 挠度; 钢索布置	184
9 部分预应力及非预应力配筋	206
10 连续梁	218
11 荷载平衡法	247
12 板	271
13 受拉构件; 环预加应力	292
14 受压构件; 桩	311
15 经济问题; 结构型式及布置	329
16 设计例	349
附录A 定义, 符号, 缩写	380
附录B 某些预加应力体系的资料	385
附录C 各种梁截面的常数	396
附录D 预应力混凝土预应力损失的计算	400
附录E 习 题	410

绪 论

1—1 预应力混凝土的发展

结构材料的发展可如图 1—1 分三列来描述。第 1 列表示抗压材料，开始时为砖石，然后发展到混凝土，最近发展到高强混凝土。第 2 列表示抗拉材料，人们使用过竹及绳，然后使用铁筋及钢材，进而使用高强度钢材。第 3 列表示既能抗拉又能抗压，亦即抗弯的材料，先是利用木材，然后是利用结构钢、钢筋混凝土以及最后研制出来的预应力混凝土。

钢筋混凝土和预应力混凝土之间的主要区别在于钢筋混凝土系将混凝土和钢筋简单地结合在一起并且任它们自行地共同工作；预应力混凝土则不然，它是将高强度混凝土与高强度钢材“能动”地结合在一起，这种结合是靠张紧钢筋并将其锚固于混凝土，从而使混凝土受压来实现。这种能动地结合使两种材料都产生非常好的性能。钢材是延性材料，现在用预加应力的办法使其能在高拉力下工作。混凝土在抗拉能力上是脆性材料，现在由于受到预压而有所改善，同时其抗压能力并未真正受到损害。因此，预应力混凝土乃是两种现代高强度材料的一种理想结合。

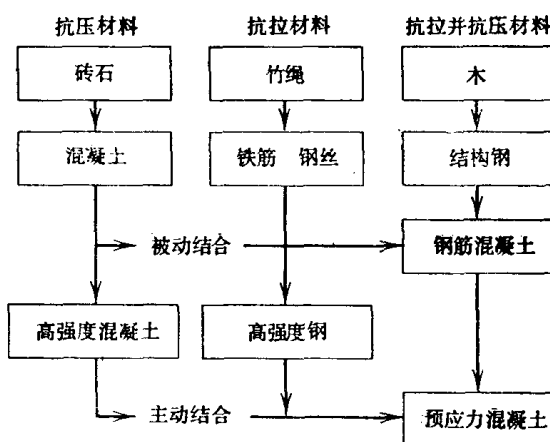
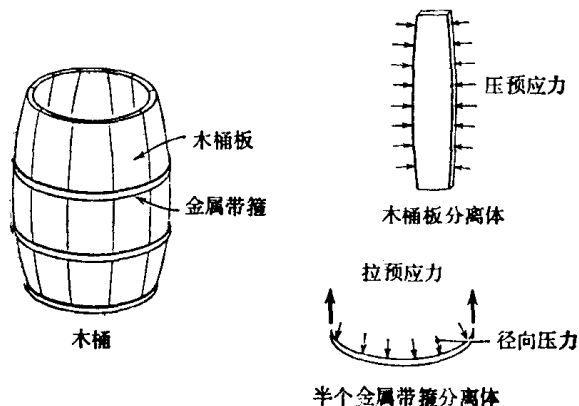


图 1—1 建筑材料的发展

预应力混凝土在其历史发展的过程中，实际上开始时并不完全是这样，当时预张拉只是用来在混凝土中产生永久的压应力以改善其抗拉强度。稍后才清楚，预张拉钢材对于高强度钢材的有效利用也是必要的。预应力方法是在一结构或组合件中有意地造成永久应力，以便改善其在各种使用条件下的行为和强度。



在本章中，将展示一些重要结构物的图片，这些结构物都是利用上述基本概念设计成预应力混凝土的。值得注意的是，此基本思想和高强度材料现已成为现代结构工程实践的极为重要的一部分。

预应力的基本原理大概在几世纪以前就已用于建造，当时是以绳索或铁箍缠绕桶板做桶（图 1—2）。当箍被张紧时，箍受到预拉力，转而在桶板之间产生预压力，这样就使它们能够抵抗内部液压所产生的环向拉力。换句

话说，箍和桶板在它们受任何工作荷载作用之前，都已作用有预应力。

可是，上述原理直到1886年才被应用于混凝土，当时加利福尼亚州旧金山的一位工程师 P·H·Jackson，获得了在人造石及混凝土拱内张紧钢拉杆作楼板用的专利。1888年前后，德国的 C·E·W·Doehring 独立地获得了在楼板受荷载前用已施加拉力的钢筋来加强的混凝土专利。这些应用都是基于这样的概念，即混凝土虽然抗压能力很强，但抗拉能力很弱，而抵着混凝土预拉钢筋就会使混凝土产生压应力，这就可用来抵消由恒载或活载在混凝土内所产生的拉应力。

这些最初获有专利的方法并不成功，因为那时在钢筋中所造成的低值预拉应力很快由于混凝土的收缩和徐变而损失掉。考虑一普通结构钢的钢筋，预加应力至工作应力 18000 psi (124N/mm²) (图 1—3)。若钢材的弹性模量约计为 29,000,000 psi (200 KN/mm²) 时，则钢筋的单位伸长为

$$\delta = \frac{f}{E} = \frac{18,000}{29,000,000} = 0.00062$$

由于最终的收缩和徐变常常在混凝土中导致与上述值不相上下的缩短量，钢筋的初始单位伸长最后可能完全消失。最多，仅有很少部分的预应力能保留，因而这一方法在经济上不能和混凝土的普通配筋方法相竞争。

1908年，美国的 C·R·Steiner 建议，有可能在混凝土的收缩和徐变发生一些之后重新张紧钢筋以挽回一些损失。1925年，内布拉斯加州的 R·E·Dill 试用加有涂层防止和混凝土粘结的高强度钢筋，在混凝土硬结后，张拉钢筋并靠螺帽锚于混凝土。但是，主要是由于经济上的原因，这些方法都未能得到推广应用。

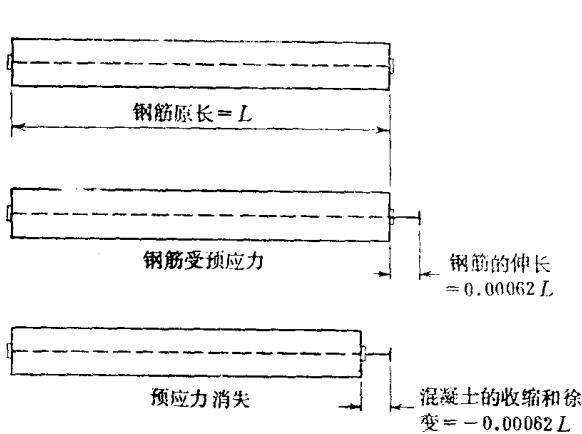


图 1—3 用普通结构钢预加应力的混凝土

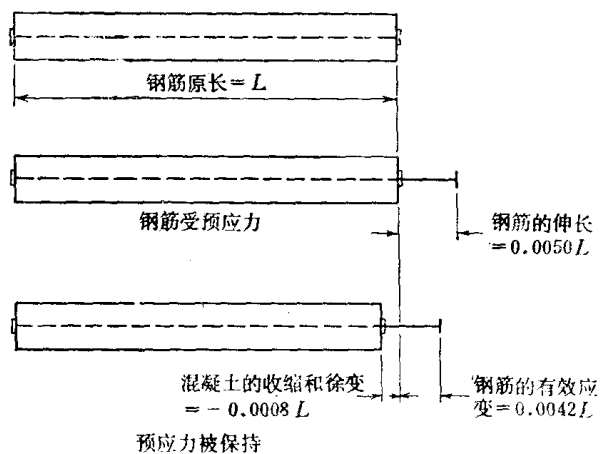


图 1—4 用高强度钢筋预加应力的混凝土

预应力混凝土的现代发展应归功于法国的 E·Freyssinet，他在 1928 年开始将高强度钢丝用于预应力混凝土。这种钢丝，极限强度高达 250,000 psi (1725 N/mm²)，屈服点超过 180,000 psi (1240 N/mm²)，预加应力至大约 145,000 psi (1000 N/mm²)，产生的应变为 (图 1—4)

$$\delta = \frac{f}{E} = \frac{145,000}{29,000,000} = 0.0050$$

假定由于混凝土收缩和徐变以及其它因素引起的应变总损失为 0.0008，则在钢丝中仍能保留净应变 $0.0050 - 0.0008 = 0.0042$ ，这相当于应力

$$f = E\delta = 29,000,000 \times 0.0042 = 121,800 \text{ psi } (840 \text{ N/mm}^2)$$

虽然 E. Freyssinet 也试过钢筋粘结于混凝土而无端锚固的预张拉方案, 但实际应用这种方法的首选是德国的 E. Hoyer。Hoyer 体系包括: 在相距数百英尺的两个张拉抵座之间张拉钢丝、在构件间放置隔板、浇筑混凝土、以及在混凝土硬结后切割钢丝。这一方法可以在两张拉抵座之间浇筑好几个单元。

直到发明创造出可靠并且经济的张拉方法和端部锚固方法之后, 预应力混凝土才得到广泛应用。在 1939 年 Feryssinet 发明了端部锚固用的锥形楔, 并设计了双作用千斤顶用来张紧钢丝然后将子锥挤入母锥以锚固钢丝。在 1940 年, 比利时的 G. Magnel 教授研制出 Magnel 体系, 在这种体系中是一次张拉两根钢丝并在每端用一简单钢楔锚固。大约在那个时候, 预应力混凝土已开始受到重视, 虽然大约到 1945 年它才真正引起人们注意。战争期间在欧洲钢材短缺也许曾给以某些促进, 因为预应力混凝土比常用的构造型式节省很多的钢材。但是也必须认识到考验和改进预应力混凝土的使用性、经济性和安全性以及使工程师和营造人员熟悉一种新的设计和建造方法等都需要时间。

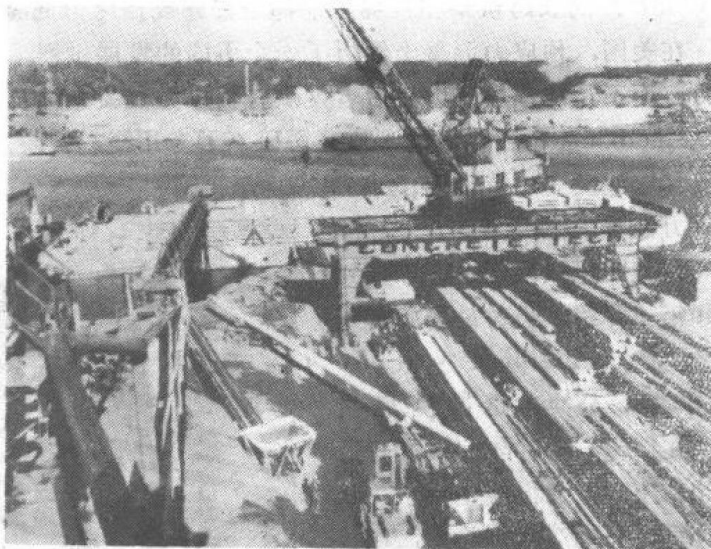


图 1—5 现代预应力工厂生产的优质预应力混凝土制品。图中所示为华盛顿州 Tacoma 市 Concrete Technology 公司的工厂正在运出的八角形长桩。36,416ft (11,100 m) 的桩材运至阿拉斯加的 Adak, 连同 400 块平台板用以建造 Navel Supply 码头 (PCI)

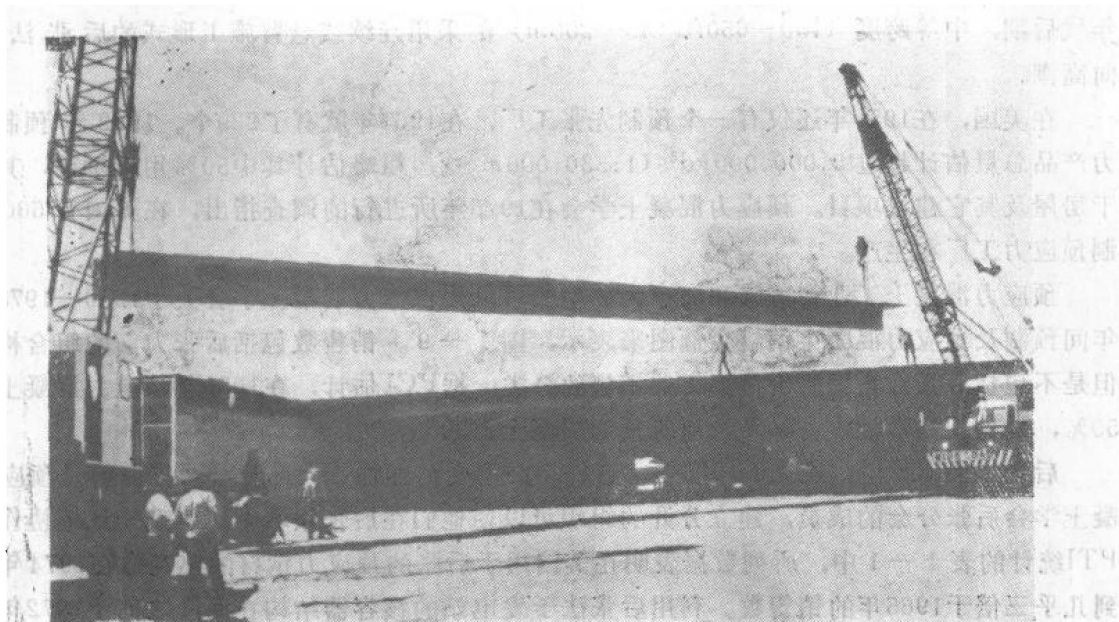


图 1—6 长跨预制 T 型截面梁的架设。这种标准截面的梁自工厂至工地的装运一般是用卡车。梁从卡车吊起并安装到结构物上。

虽然法国及比利时领先发展了预应力混凝土,英国、德国、瑞士、荷兰、苏联及意大利等国也很快继起。自1965年以来,在德国建造的全部桥梁的47%是预应力混凝土的¹。苏联在1978年全年生产了25,000,000m³预应力混凝土,大部分是用于房屋建筑的先张产品。自60年代后期及70年代以来,大部分中等跨度桥梁(100—300ft, 30—90m)和许多直到1000ft (305m)的长跨桥梁在世界各地都是修建成预应力混凝土的。

在美国,预应力混凝土经历了一个不同的发展过程。早期领先的是象用于储罐的环预加应力,而不是线预加应力,后者是赋予预应力混凝土梁及板的一个名称。环预加应力几乎完全是Preload公司所完成的,该公司研制了专用绕丝机,从1953年到1963年在美国各地以及世界其它地区共建造了约1000个预应力混凝土罐。

在美国,线预加应力直到1949年才开始,当时是开始修建著名的Philadelphia Walnut-Lane 桥。公共道路勘测局指出,在1957—1960年间核准建造了2052座预应力混凝土桥,总长68英里,总价2.9亿美元,在长度及造价两方面都占全部新建公路桥的12%。

从1960年起,采用预应力混凝土桥在美国已成为标准作法。在很多州,几乎所有跨度在60到120ft (18—36m)范围内的桥都已用预应力混凝土建造。自七十

年代后期,中等跨度(150—650ft, 45—200m)的采用连续或悬臂施工形式的后张法桥走向高潮。

在美国,在1950年还仅有一个预制先张工厂,在1961年就有了229个。1962年预制预应力产品总量估计超过2,000,000yd³ (1,530,000m³),粗略估计其中50%用于桥梁,其余用于房屋及其它建设项目。预应力混凝土学会在1975年所进行的调查指出,在美国有500个预制预应力工厂在生产。

预应力混凝土工业在美国和加拿大的增长可以用预应力混凝土学会关于1950—1975这25年间预制及预应力混凝土销售金额图来表示,图1—9。销售数包括后张力筋的组合构件,但是不包括后张结构物的价值。工业销售的分类,据PCI估计,在1975年预应力混凝土约占50%,结构预制混凝土占30%及建筑预制混凝土占20%。

后张学会(PTI)成立于1976年,有16个公司成员参加。大部分公司先前曾是预应力混凝土学会后张分会的成员,建立分开的组织可以使他们在后张领域中更明确一致地协作。在PTI统计的表1—1中,所列数据表明在美国用于后张的预应力钢材的总吨数在1974年增加到几乎三倍于1965年的销售数。利用后张法于发电站的核容器结构在回降之前于1972年增长至顶峰。从表1—1也可注意到,自1972年以来在土工方面对土和岩石锚杆增加了后张法的采用。1974年后张法销售分配如下:房屋——59%,桥梁——25%,核子方面——7%,土



图1—7 预制预应力混凝土大梁和柱组成62-ft跨汽车间的刚架,加利福尼亚大学,贝克莱(建筑师Anshen及Allen,结构工程师T.Y.Lin国际咨询公司)

工——8%。1974年估计房屋建造用的平板有二千万平方英尺是后张的，说明它是一很有竞争力的结构体系。自七十年代以来，预制预应力构件和后张现浇混凝土构件二者都在采用。采用二者相结合的革新设计也很普遍。

表1-1 美国后张钢材吨数——1965至1975^a（相当于 $\frac{1}{2}$ in.直径的270 ksi级钢绞线的当量吨数）

年份	房 屋	桥 梁	核 子 方 面	土 工	其 它	总 计
1965	10,979	2,400				13,379
1966	11,310	2,736				14,046
1967	10,335	5,148	83			15,566
1968	12,204	7,159	208			19,571
1969	17,611	7,537	718			25,866
1970	19,136	8,920	2,420			30,476
1971	22,145	8,682	4,181			35,008
1972	23,721.50	7,181.79	6,118.20	939.19	165.70	38,126.38
1973	21,809.18	9,227.76	3,244.30	785.48	422.17	35,488.89
1974	23,560.24	10,056.28	2,769.53	3,111.19	235.50	39,732.74
1975	11,993.71	7,953.95	2,134.70	1,941.80	1,893.49	25,917.65 ^a

a 1975年的吨数报告得不完全。估计1975年总吨数是29,000,000吨。资料来自后张学会。

预应力混凝土的进展，在科学研究及开发两方面，以其技术协会和出版物的增长情况或许最能说明。在美国，预应力混凝土学会创建于1954年，到1975年有会员数2150。该学会出版有PCI items 报导及 PCI Journal 期刊，并成立有很活跃的各专门委员会。1971年预应力混凝土学会的预应力混凝土手册⁸的推广，标志着承认预应力混凝土是工程师们能够较容易使用的一种结构体系，并且确有信心地认为是一富有生命力的体系。PTI出版了后张手册⁹，它在组织PTI之前就已由PCI后张分会着手进行。1957年旧金山世界预应力混凝土讨论会的报告集和1960年在加利福尼亚州举行的西方预应力混凝土房屋讨论会的报告集包括了本专题所有方面的许多有价值的文章。国际预应力联合会（FIP）总部设在伦敦，在44个国家有团体会员并在大约25个其它国家有



图1-8 新加坡40层办公楼具有8 in.厚后张30-ft跨平板。楼板厚度减薄后使楼的高度减少了40-ft（T·Y·Lin国际咨询公司）

FIP 观察员。自1963年以来，它在世界各地举行会议的文章已出版有数百篇¹¹。1975年，ACI、PCI和FIP在Philadelphia共同主持了联合会议，探讨了全世界预应力混凝土的发展。这次会议指出，预应力混凝土已推广应用于大型海洋储油结构、核电站的重型容器结构以及甚至远洋驳船。PCI Journal出色的一期（1976年9—10月号）¹⁰刊载了1976年6月加利福尼亚大学（伯克利）“预应力混凝土的过去、现在及未来”T.Y.Lin专题讨论会的文章。桥梁是较比容易由联邦机构和州机构加以标准化的，因而有助于预应力混凝土建造的发展；可是为个体建筑师及工程师们去发展标准化的房屋产品和设计却用了较多的时间。虽然如此，自六十年代起随着预应力混凝土的编入建筑法规以及人们对预应力设计及建造的普遍熟悉，在房屋方面所经历的成长速度也还是快的。

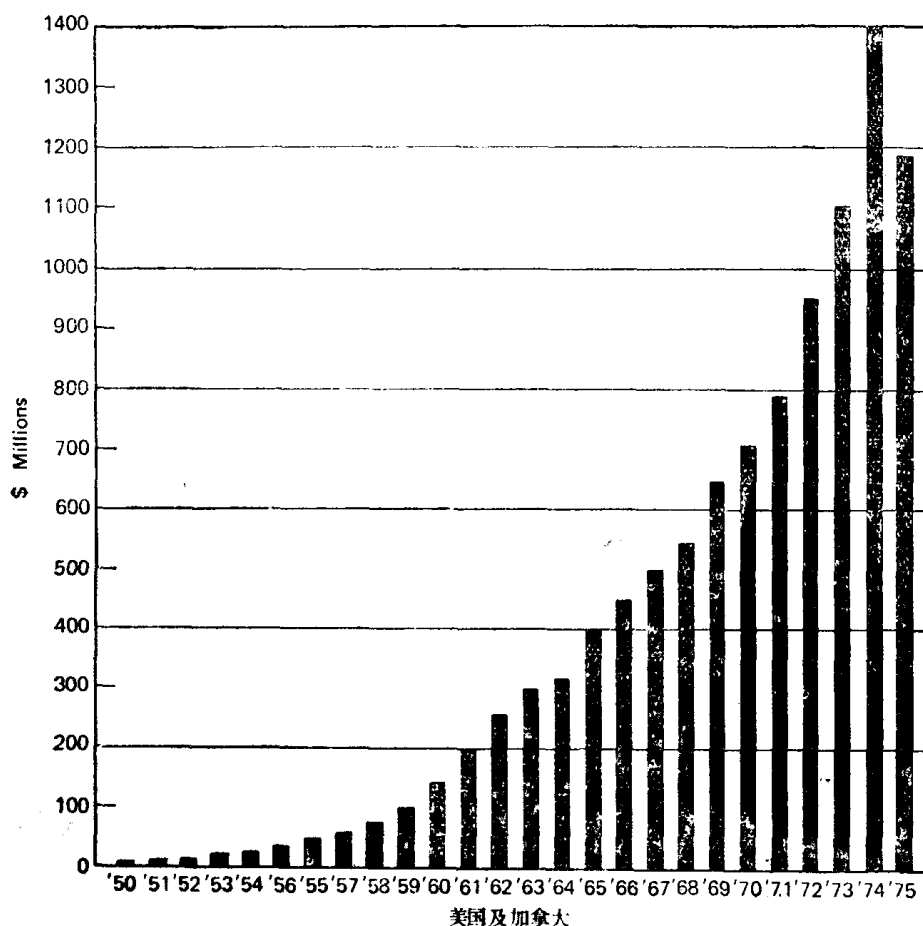


图 1—9 美国及加拿大1950至1975年预制及预应力混凝土的金额销售量的估计。
没有分类，适用于美国及加拿大（预应力混凝土学会）

这就是预应力混凝土在美国应用后张法于房屋、桥梁及压力容器，包括结合先张法、后张法及普通配筋法用于结构物及结构构件已有的发展情况。

在储罐、桥梁和房屋之外，预应力混凝土也已偶尔用于坝上，用预应力钢杆锚在基础上，或用千斤顶抵着基础将坝顶起。桩、杆及管道都已经用预应力混凝土建造。在某些结构中，有可能不用预应力力筋而使混凝土受预应力。例如，Freyssinet的拱内应力调整法就是用一组液压千斤顶嵌入拱内而在拱肋导致调整应力。这种应力是用来抵消拱内的收缩、拱肋缩短及温降等效应。Brest附近的Plougastel桥有三跨，每跨跨长为612ft（186.5m），即是这种应用的例子³。

预应力的基本原理并不限于使用混凝土建造的结构物，它同样已应用于钢结构。当两块钢板用热铆铆钉或高强螺栓连接时，连接杆受有高度预拉力而板受压，这样使板能承受板间的拉力荷载。Sciotoville桥，跨度为720ft (219.5m)，它的各杆件在装配时都曾受预应力，处于受弯状态，以便抵消活载及恒载引起的次应力⁴。比利时布鲁塞尔的飞机库就用了一榀用高强钢丝预应力的连续桁架，并有两榀同样的桁架在Ghent大学进行了试验⁵。

无论预应力方法是用于钢材或混凝土，其最终目的有二：第一，在结构物内产生希望得到的应变和应力；第二，抵消不希望出现的应变和应力。在预应力混凝土内，钢筋是预先拉长以防在使用荷载下过分伸长，而混凝土是被预压以防止在拉应力下开裂，于是实现了两种材料的理想结合。预应力混凝土合乎基本需要自不待言，但是它的推广应用要靠工程师熟悉其原理和实践以及进一步发展其设计和施工方法来推进。

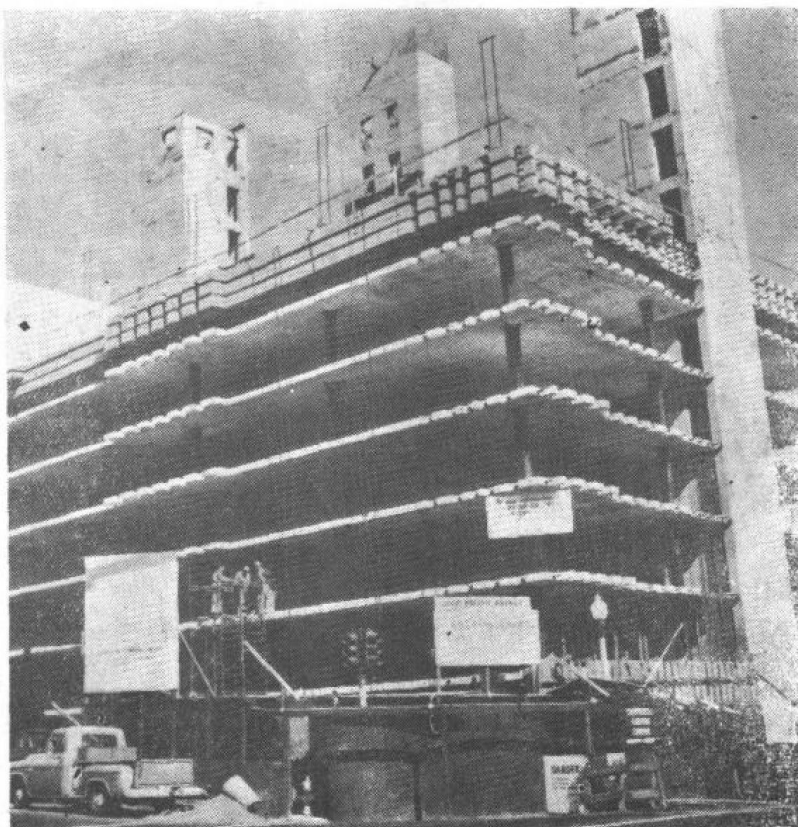


图 1—10 13层公寓建筑，全部板在地面后张后正在顶升就位；板厚为8 in.，跨度为28-ft，轻质混凝土；旧金山（房主George Belcher，工程师August Waegeman，顾问T·Y·Lin及助手）

1—2 预应力混凝土的一般原理

ACI预应力混凝土委员会对预应力混凝土所下的定义是最好的定义之一。

预应力混凝土，系其中已建立有内应力的混凝土，内应力的分布能抵消给定外部加荷所引起的应力至所预期的程度。在钢筋混凝土构件中，预应力一般是靠张拉钢筋来建立的。

或许要补充一点，按名词的广泛意义而言，预应力混凝土也可包括由于内部应变引起应力在一定程度上被抵消的情况，例如拱内应力调整法。然而，本书将主要讨论ACI委员会所定义的预应力混凝土结构，并将其限于用张拉被称做力筋的钢筋的方法来获得预应力。力筋，如附录A所定义，可包括高强钢的钢绞线。钢丝或粗钢筋，如第2章所述。这是目前最普通的预应力混凝土型式，本章的较大部分以及本书都将讨论这种类型。

可以用三种不同的概念来说明和分析这种预应力混凝土形式的基本行为。一个设计人员了解所有三种概念是很重要的，这样他就能灵活并有效地配比和设计预应力混凝土结构。这些将说明如下。

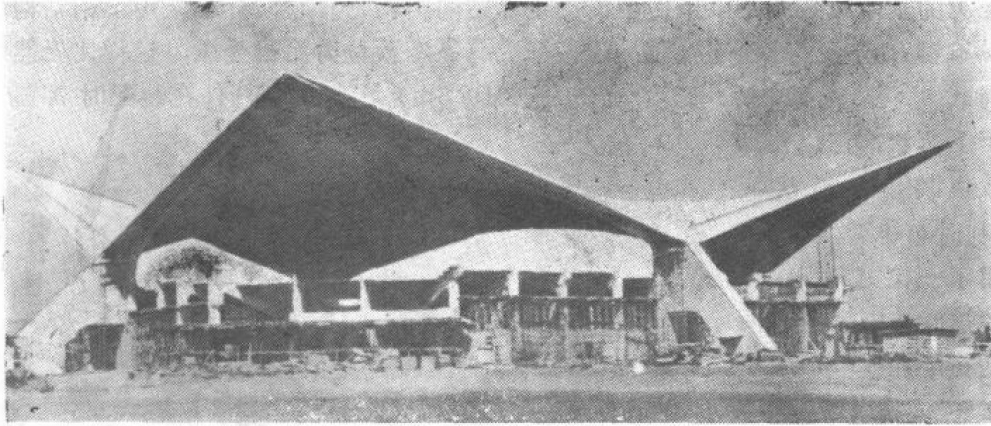


图 1—11 波多黎各Ponce体育馆。4 in.薄双曲抛物面壳体悬臂138ft长，及细长边梁（T.Y.Lin国际咨询公司）。更详细节见图15—12

第一种概念——预加应力变混凝土为弹性材料。此概念把混凝土当作是一种弹性材料，在工程师中间这或许是最共同的观点。它归功于Eugene Freyssinet，他把预应力混凝土基本上看作是混凝土经过预压而从一种脆性材料变为一种弹性材料。抗拉弱抗压强的混凝土被压

（一般通过高拉力下的钢筋），这样，脆性的混凝土就能抵抗拉应力。由此概念就产生了无拉应力的准则。一般认为，如果混凝土中没有拉应力，就可能是没有裂缝，混凝土也就不再是脆性材料而变为一种弹性材料。

由此观点，混凝土被看作是受有两个力系：内部预应力及外部荷载，外部荷载引起的拉应力被预应力所产生的压应力所抵消。也就是说，荷载引起的混凝土开裂会被力筋所产生的预压力所阻止或推迟。只要没有裂缝，由两个力系所产生的混凝土的应力、应变及挠度可以分别考虑并在需要时可叠加。

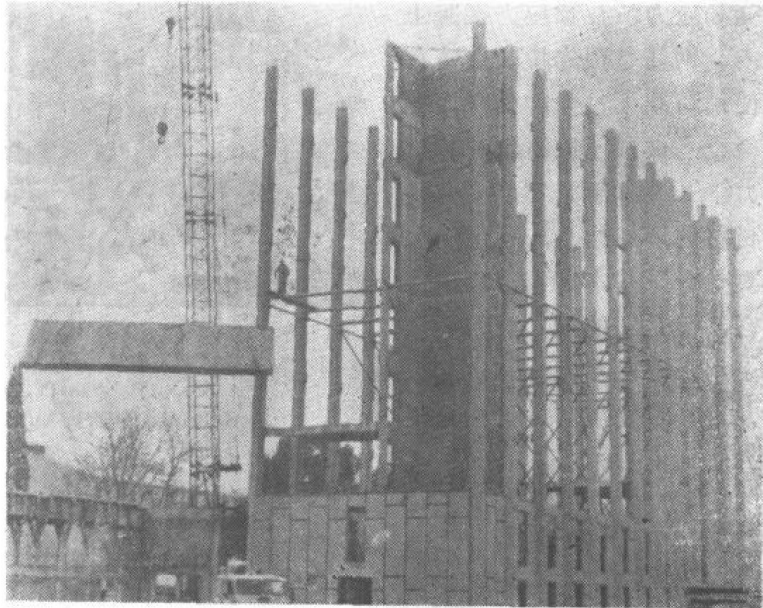


图 1—12 一正在建造中的全部预制 9 层办公楼，加利福尼亚大学（Davis）。90ft长的柱，楼板及外墙皆为预制先张混凝土（建筑师Gardner A. Dailey, T.Y.Lin国际咨询公司）。参看图 14—7，本结构的柱子正在安装的图片

我们就其最简单的型式来考察一简支矩形梁，力筋的重心轴与梁的重心轴重合，通过钢筋使梁预受应力（图 1—13），梁上并作用有外荷载。力筋中的预拉力 F 在混凝土中产生一大小相等的压力 F ，此压力也是作用在力筋的重心处。在此情况下，力的作用线通过截面的重心。由于预应力 F ，在面积为 A 的截面上将产生一均匀压应力

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

如果 M 为梁上荷载及自重在某截面处所引起的外弯矩，则该截面任意一点处由 M 引起的应力为

$$f = \frac{My}{I} \quad (1-2)$$

其中 y 为该点到截面重心轴的距离, I 为截面的惯性矩。因此, 叠加后的应力分布表示为

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{My}{I} \quad (1-3)$$

如图 1-13 所示。

如果力筋是偏离混凝土截面重心布置 (图 1-14), 其解稍较复杂。混凝土内的合压力 F 在这里是作用在力筋的重心处, 离 c.g.c. 的距离为 e , 如图 1-14 所示。由于是偏心的预应力, 混凝土除承受一直接荷载外还要承受一弯矩。该压力产生的弯矩若为 Fe , 则此弯矩在混凝土截面上任意一点处引起的应力为:

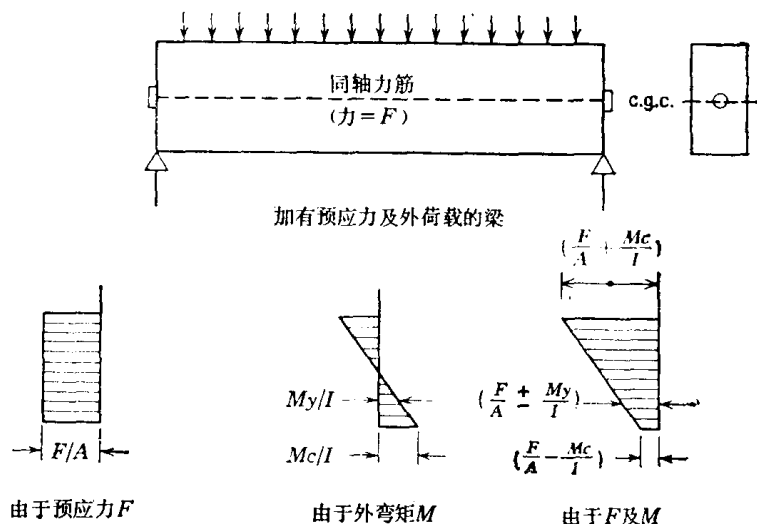


图 1-13 共轴预应力混凝土截面的应力分布

$$f = \frac{Fey}{I} \quad (1-4)$$

而叠加后的应力分布表示为:

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{Fey}{I} \pm \frac{My}{I} \quad (1-5)$$

如图所示。

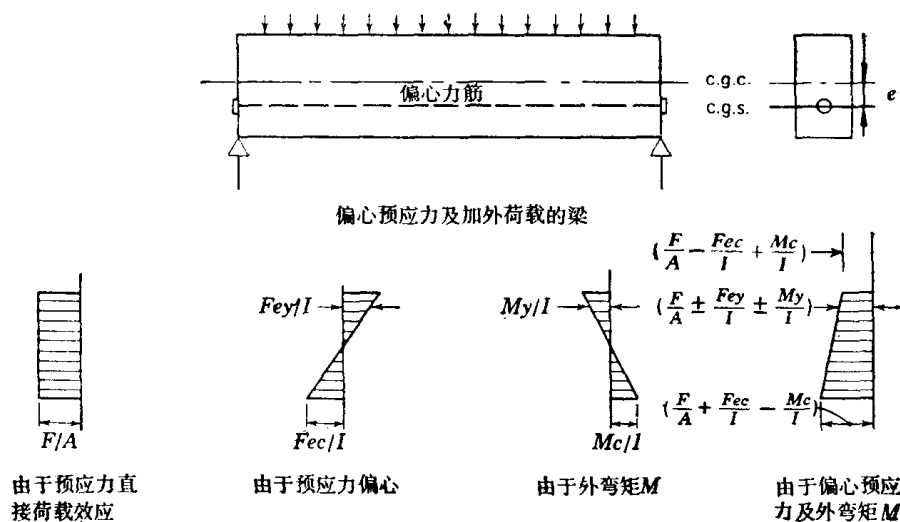


图 1-14 偏心预应力混凝土截面的应力分布

例 1-1

一预应力混凝土矩形截面 $20\text{in.} \times 30\text{in.}$ 简支梁, 跨长 24ft , 受均布荷载包括自重为 3k/ft , 见图 1-15。预应力力筋布置如图示, 产生一有效预应力 360k. 。计算跨中截面处混凝土的纤维应力 (跨长 $= 7.31\text{m}$, 荷载 $= 43.8\text{kN/m}$ 及 $F = 1601\text{kN}$)

解: 利用公式 1-5, 我们有 $F = 360\text{k}$, $A = 20 \times 30 = 600\text{in.}^2$ 。(不考虑力筋引起的孔洞), $e =$

6 in., $I = bd^3/12 = 20 \times 30^3/12 = 45,000 \text{ in.}^4$; 对于边缘纤维 $y = 15 \text{ in.}$ 。

$$M = 3 \times 24^2/8 = 216 \text{ k-ft} \quad (293 \text{ kN-m})$$

因此, 假定压应力为负, 则有

$$\begin{aligned} f &= \frac{F}{A} \pm \frac{Fey}{I} \pm \frac{My}{I} = \frac{-360000}{600} \pm \frac{360000 \times 6 \times 15}{45000} \pm \frac{216 \times 12000 \times 15}{45000} \\ &= -600 \pm 720 \pm 864 = -600 + 720 - 864 = -744 \text{ psi} \quad (-5.13 \text{ N/mm}^2) \text{ 顶面纤维} \\ &= -600 - 720 + 864 = -456 \text{ psi} \quad (-3.14 \text{ N/mm}^2) \text{ 底面纤维。} \end{aligned}$$

叠加后的应力分布示于图 1—15。

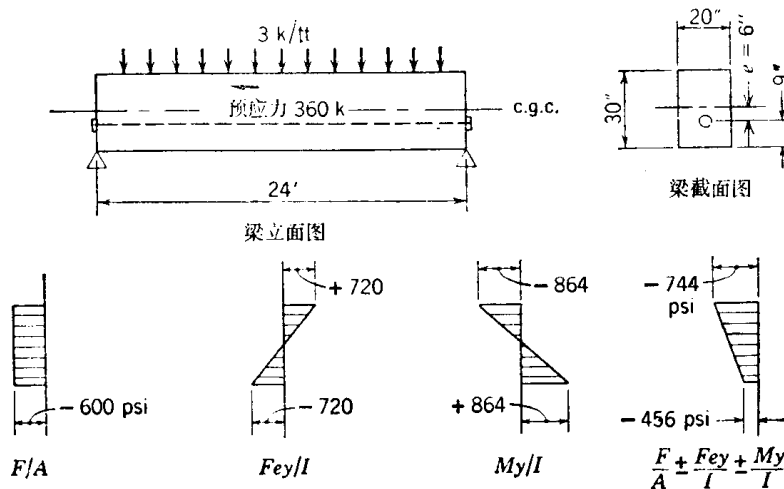


图 1—15 例 1—1

如果力筋是弯曲的或弯折的, 图 1—16 (a), 为了方便常常取构件的左边或右边部分做为分离体, 以便计算预应力 F 的效应。注意, 仅由预应力在混凝土上产生的合压力是和作用在偏心距为 e 处力筋的力 F 相等。因此, 在图 1—16 (b) 中, 由水平力平衡条件得出, 混凝土所受的压力等于钢筋中的预应力 F , 因而由于偏心力 F 在混凝土内引起的应力表示为

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot c}{I}$$

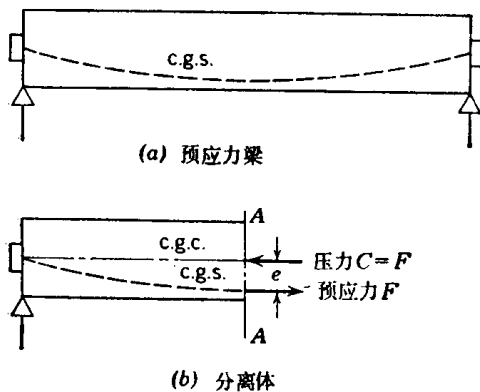


图 1—16 预应力效应

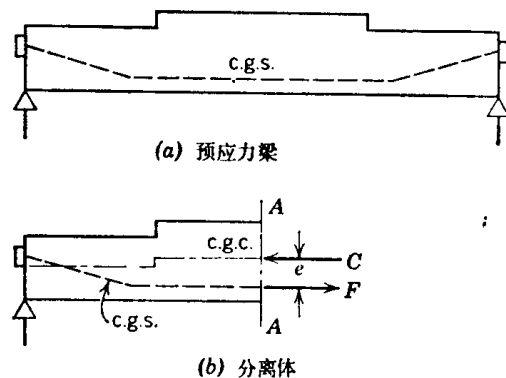


图 1—17 对于静定构件, 预应力效应和截面以外的变化无关

因此, 由于预应力在一截面处引起的混凝土应力仅取决于 F 在该截面处的大小和位置, 而不管力筋纵断面沿梁其它部位可能有改变。例如, 若图 1—17 所示梁的截面 A—A 和图 1—16